



MSC 65Y99

ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ЦИФРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУБПИКСЕЛЬНОГО СКАНИРОВАНИЯ

С.В.Блажевич, Е.С. Селютина

Белгородский государственный университет,
ул. Победы 85, Белгород, 308015, Россия, e-mail: blazh@bsu.edu.ru

Аннотация. В работе демонстрируется метод синтеза цифрового изображения высокого разрешения на основе группы изображений того же объекта с низким разрешением (метод получения сверхразрешения) на примере одномерной задачи.

Ключевые слова: синтез цифрового изображения, субпиксельное сканирование, сверхразрешение.

Методы повышения качества цифровых изображений направлены на улучшение восприятия изображения технической или художественной картины человеком. При этом понятие «повышение качества» связывается как с характером передаваемой зрителю (читателю) посредством этого изображения информации, так и со спецификой человеческого зрения. В этой связи обработка цифрового изображения, необходимая для улучшения его качества, в зависимости от указанных специфик может значительно варьироваться, чтобы соответствовать вытекающим из них весьма различным целям. Например, важным для восприятия может быть обеспечение «правильной» передачи цветности изображения. Кроме того изображение может содержать шумовую составляющую, частично маскирующую полезную информацию, для передачи которой оно предназначалось, и улучшение качества изображения в таком случае достигается его обработкой, направленной на выделение и последующее вычитание фоновой составляющей. Важной характеристикой качества изображения является пространственное разрешение, т.е. количество пикселей, которыми оно формируется. В некоторых случаях, например, для визуальной передачи простой информации, достаточно использовать изображения очень низкого разрешения, что обеспечит и высокую скорость ее восприятия. В других случаях, например, для восприятия большого количества мелких деталей картинки или схемы, требуется высокое пространственное разрешение цифрового изображения. Может оказаться, что пространственное разрешение, которое может обеспечить детектирующая матрица, недостаточно для получения требуемой детализации изображения. Это означает, что нужное цифровое изображение не может быть получено в течение одной экспозиции. В этом случае возникает задача его синтеза на основе группы изображений одной и той же картинки, имеющих более низкое разрешение, т.е. так называемая задача «сверхразрешения».



Проблема получения изображения высокого разрешения за счет обработки нескольких исходных исследуется в течение последних двадцати лет. Для решения этой задачи предложены различные подходы, которые можно классифицировать по разным критериям. Если в качестве основания классификации использовать критерий смещения регистрирующей системы, то выделяют подходы с использованием смещения изображения объекта на фиксирующей его матрице детекторов (motion-based techniques) и подходы без смещения (motion-free approaches). По тину обрабатываемых характеристик изображения можно выделить методы, основанные на использовании частотных [1] или пространственных [2-4] характеристик изображения.

В настоящей работе рассматривается метод решения задачи сверхразрешения, основанный на смещении изображения объекта [3-4] на фиксирующей его матрице детекторов с последующей обработкой полученных изображений в пространственной области.

Будем рассматривать задачу повышения разрешения растрового изображения. Растровое изображение имеет определенную структуру. Наименьшим логическим элементом изображения является пиксель. Из определения пикселя следует, что максимальная детализация растрового изображения задаётся при его создании исходным количеством точек. При увеличении масштаба изображения, пиксели превращаются в крупные зёрна за счет окрашивания в один цвет соседних элементов изображающей системы (например, монитора). Чтобы уменьшить размер пикселя, необходимо дополнить количество точек, определяющих параметры соответствующих им пикселей, а значит, нужна дополнительная информация о синтезируемом изображении. Где же ее получить, если исходные изображения уже имеют предельное разрешение, ограниченное существующим техническим пределом? Тем не менее, синтезированное изображение может иметь более высокое разрешение, а значит, само изображение может содержать больше информации, чем каждое из исходных изображений объекта съемки. Оказывается, что эта дополнительная информация содержится во взаимных субпиксельных смещениях исходных изображений. И задача получения сверхразрешения сводится к поиску алгоритма синтеза изображения высокого разрешения на основе группы исходных изображений, сдвинутых относительно друг друга на доли пикселя. Соответствующая этому алгоритму обработка исходных изображений называется и является по сути субпиксельной обработкой. Субпиксельная обработка в данном случае предполагает получение нового значения пикселя на основе обработки нескольких других, частично сходных между собой пикселей.

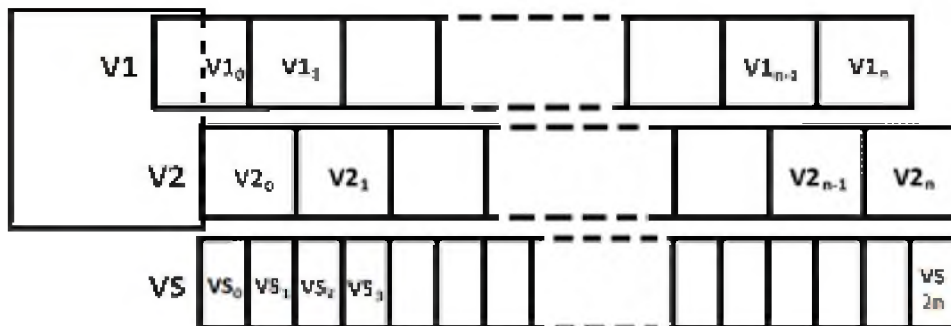


Рис. 1. Схема взаимного пространственного расположения пикселей исходных и синтезированных изображений. Случай сдвига на $1/2$ пикселя.



Одномерный случай. В качестве простейшего примера синтеза рассмотрим синтез одномерного изображения на основе двух изображений, сдвинутых на полпикселя на матрице детекторов, содержащей N пикселей (стрипов) (см. рис. 1.). Два исходных одномерных изображения будут представлены векторами размером N элементов, например, $V1$ и $V2$. Для однозначного решения задачи сверхразрешения потребуем выполнения граничного условия для синтезируемого вектора VS .

Одним из подходящих для этого методов является экранировка первой половины первого пикселя $V1_0$. При этом возникает краевое условие $VS_0 = V1_0$. Другие значения пикселей синтезируемого изображения определяются согласно следующему простому алгоритму, представленному в виде программы пакета MathCad:

$$\text{synthesis1}(a1, a2) := \left| \begin{array}{l} n \leftarrow \text{rows}(a1) - 1 \\ vs_0 \leftarrow a1_0 \\ \text{for } i \in 1..n \\ \quad \left| \begin{array}{l} vs_{2 \cdot i - 1} \leftarrow a2_{i-1} - vs_{2 \cdot i - 2} \\ vs_{2 \cdot i} \leftarrow a1_i - vs_{2 \cdot i - 1} \end{array} \right. \\ vs \end{array} \right. \quad (1)$$

В результате такой субпиксельной обработки векторов $V1$ и $V2$ получаем вектор изображения VS с увеличенным вдвое пространственным разрешением.

Если детектор, регистрирующий одномерное изображение, сдвигать не на половину пикселя, а на его треть, то можно получить три вектора, соответствующие съемки изображения в трех положениях детектора: $V1$, $V2$ и $V3$. Схема пространственного расположения пикселей регистрирующей матрицы в трех указанных положениях показана на рис. 2.

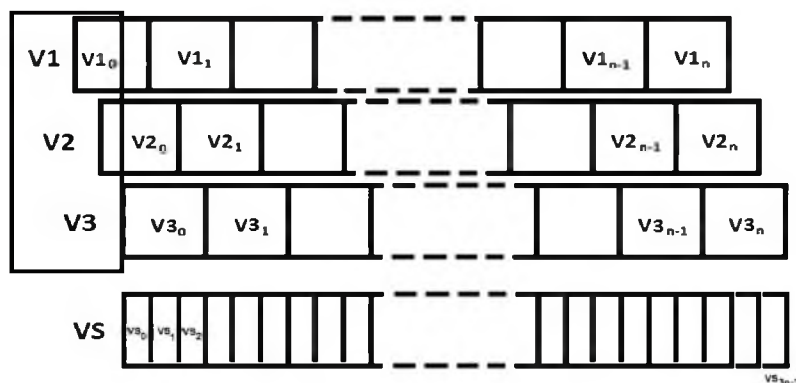


Рис. 2. Схема расположения пикселей исходных и синтезированных изображений для сдвигов на $1/3$ пикселя. Краевое условие определяется частичным экранированием изображения на первом пикселе.



Алгоритм синтеза на основе этих векторов вектора изображения с разрешением в три раза более высоким представлен следующей программой:

```

synthesis3(a1,a2,a3) :=
    n ← rows(a1) - 1
    vs0 ← a10
    vs1 ← a20 - a10
    vs2 ← a30 - a20
    for i ∈ 1 .. n
        | vs3.i ← a1i - a3i-1 + vs3.i-3
        | vs3.i+1 ← a2i - a1i + vs3.i-2
        | vs3.i+2 ← a3i - a2i + vs3.i-1
    vs
    (2)

```

Рассмотрим в качестве примера синтез изображения заданного функции $f(x) = \sin(x)$. Изображение регистрируются матрицей пикселей размером d . Сигналы i -того пикселя в разных положениях детектора определяются интегралами:

$$V1_i := \int_{i \cdot d}^{(i+1) \cdot d} f(x) dx, \quad V2_i := \int_{i \cdot d + \frac{d}{3}}^{(i+1) \cdot d + \frac{d}{3}} f(x) dx, \quad V3_i := \int_{i \cdot d + \frac{2d}{3}}^{(i+1) \cdot d + \frac{2d}{3}} f(x) dx.$$

Начальные условия для данной задачи определяем условиями экранирования части первого пикселя в первом и втором положениях:

$$V1_0 := \int_{\frac{2 \cdot d}{3}}^d f(x) dx, \quad V2_0 := \int_{\frac{2 \cdot d}{3}}^{d + \frac{d}{3}} f(x) dx.$$

На рис. 3 представлены векторы исходных цифровых изображений $V1$, $V2$, $V3$ и вектор синтезированного изображения $VS = \text{synthesis3}(V1, V2, V3)$.

Из приведенного примера видно, что синтезированный вектор, описывающий одномерное изображение, имеет количество элементов больше (в данном случае втрое), чем исходные векторы.

Подобная процедура может быть обобщена и на случай двумерных изображений.

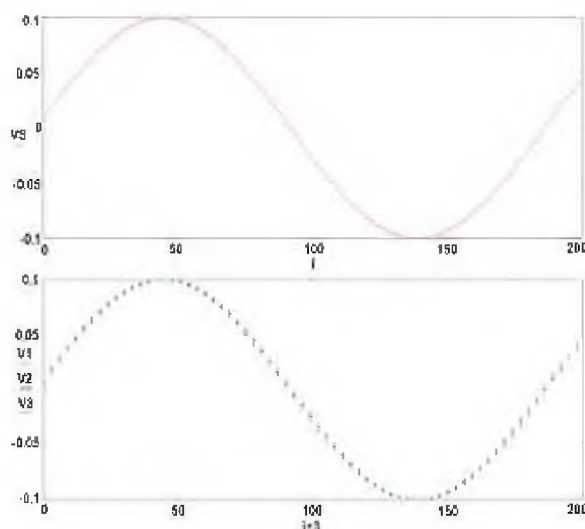


Рис. 3.

Литература

1. Alldrin N. Super-Resolution // <http://vision.ucsd.edu/~nalldrin/research/super-resolution/>
2. Chaudhuri S; Manjunath J. Motion-Free Super-resolution / Hardcover, 2005. – 240 p.
3. Блажевич С.В., Винтаев В.Н., Ушакова Н.Н. Синтез космического изображения с улучшенной разрешающей способностью на основе субпиксельного сканирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. научных статей ИКИ РАН. – 2010. – 7; № 2. – М.: ДоМира, 2010. – С.9-13.
4. Блажевич С.В., Винтаев В.Н., Селютина Е.С., Ушакова Н.Н. Синтез цифровых изображений субпиксельного уровня разрешения с использованием расфокусировки // Техническое зрение в системах управления: сб. тезисов научно-технической конф. // М.: ИКИ РАН, 2011. – С.55-56.

SUB-PIXEL SCANNING TO PRODUCE SUPER-RESOLUTION DIGITAL IMAGES

S.V. Blazhevich, E.S. Selyutina

Belgorod State University,
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: blazh@bsu.edu.ru

Abstract. It is proposed the method of high-resolution digital image synthesis on the basis of the set of low-resolution images of the same object (the method of super-resolution). The method is exemplified in the case of the one-dimensional image.

Key words: synthesis of digital images, sub-pixel scanning, superresolution.